

Список использованных источников

1. Девятков Д. Х., Каплан Д. С. Корпоративная информационная система металлургического предприятия. – Магнитогорск, МГТУ, 2008. – 306 с.
2. Казаков С. В., Крепостной К. В., Свистунов А. А., Рыболовлев В. Ю., Ишметьев Е. Н. Автоматизированная система контроля, учета и управления снабжением топливно-энергетическими ресурсами ОАО «ММК» // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании: сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2006. – С. 90–96.
3. Краснобаев В. А., Спирин Н. А., Лавров В. В., Рыболовлев В. Ю., Щипанов К. А. Современные принципы построения и реализации информационно-моделирующих систем сложных теплотехнических агрегатов // Международная конференция «Теплотехника и энергетика в металлургии»: труды. Украина; Днепрпетровск, 2002. – С. 34–38.
4. Девятков Д. Х., Лукьянов С. И., Логунова О. С., Суспицын Е. С., Тутарова В. Д., Швидченко Д. В. Автоматизированная система контроля и управления МНЛЗ. – Магнитогорск: МГТУ, 2009. – 640 с.
5. Урцев В. Н., Капцан Ф. В., Фомичев А. В., Марков П. Е., Фатыхов Д. Ф., Каплан Д. С., Сеничев В. С., Косарев С. А. Комплексная автоматизация процессов управления производством и качеством // Создание и внедрение корпоративных информационных систем (КИС) на промышленных предприятиях Российской Федерации: сб. науч. трудов Второй международной конференции по КИС. Магнитогорск, 2007. – С. 44–48.
6. Рыболовлев В. Ю., Доронин В. Ю., Довженко П. Ю. Мониторинг оперативного состояния технологических агрегатов ККЦ в рамках автоматизированной информационной системы центральной диспетчерской ОАО «ММК» // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании: сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2006. – С. 85–89.
7. Виер И. В. Каплан Д. С., Сеничев В. С. [и др.] Опыт комплексной автоматизации процессов управления производством и качеством в подразделениях ОАО «ММК» // Сталь. 2007. № 2. – С. 125–128.
8. Спирин Н. А., Лавров В. В., Рыболовлев В. Ю., Краснобаев В. А., Онорин О. П., Косаченко И. Е. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки металлургии / под ред. Н. А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.

УДК 669.042

**С. К. Сибатуллин¹, А. С. Харченко¹, В. В. Бултаков¹,
Д. М. Кузнецов¹, В. А. Бегинюк²**

¹ ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия,

² ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск, Россия

ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ И ЗОНЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Аннотация

Приведены результаты исследований путем физического, детерминированного, нейросетевого моделирования и промышленных экспериментов на доменных печах ОАО

© Сибатуллин С. К., Харченко А. С., Бултаков В. В., Кузнецов Д. М., Бегинюк В. А., 2014

«ММК». Выявлены мероприятия, совместное применение которых с коксовым орешком устраняет отрицательное действие его на ход доменной плавки. К таковым относятся использование кокса повышенного качества, промывочных материалов и повышение равномерности поступления орешка из бункера БЗУ в колошниковое пространство печи.

Ключевые слова: доменная печь, коксовый орешек, бесконусное загрузочное устройство лоткового типа, дренажная способность горна.

Abstract

The results of studies of the physical, determinated, neural network modeling and industrial experiment on the blast furnaces of OJSC «ММК» are given here. The joint use of identified activities with coke nut eliminates the negative effect on the course of the blast furnace melting. These include the use of high quality coke, washing materials and increase the uniformity of incoming of coke nut from the hopper of bell-less charging device into the throat space of the blast furnace.

Keywords: the blast furnace, coke nut, the bell-less charging device, drainage capacity.

От расположения определяющей зоны по силовому взаимодействию потоков шихты и газа и своевременного воздействия на процессы, протекающие в них, зависят удельный расход кокса, производительность и срок службы печи. Известно, что при ее работе максимальные напряженности возникают в верхней части печи (2–6 м от уровня засыпи) и в области заплечиков над фурменными очагами, которые сдерживают интенсивность доменного процесса в целом. В этих зонах величина потери напора газа приближается к предельно допустимой, что на практике проявляется в виде нарушения ровности схода материалов. Это сопровождается ухудшением технико-экономических показателей доменной плавки [1].

В условиях работы печей ОАО «ММК» с верхней определяющей по газодинамике зоной имелись трудности повышения расхода природного газа. Это является результатом роста на 0,29 % взаимного сопротивления материалов и газов в верхней части печи от увеличения расхода газа на каждые 1 м³/т чугуна. При работе печей с нижней лимитирующей зоной определяющим процессом становилась дренажная способность кокса в горне печи. В этом случае наступали ограничения по использованию кокса мелких фракций. Производство чугуна снижалось, удельный расход кокса увеличивался [2; 3].

В связи с этим актуальной задачей для доменного производства является выявление мероприятий, применение которых обеспечит высокие удельные показатели плавки печей, работающих с нижней и верхней определяющими зонами по силовому взаимодействию потоков шихты и газа.

Нейросетевым, детерминированным, физическим моделированием и промышленными экспериментами на доменных печах ОАО «ММК» выявили технологические решения, взаимодополняющие друг друга. Совместное их применение приведет к повышению технико-экономических показателей плавки.

Физическим моделированием установили рациональные режимы загрузки материалов в бункер БЗУ, обеспечивающие максимально возможную равномерность поступления компонентов шихты на лоток БЗУ по виду материала и наиболее высокую однородность шихты по крупности. Исследования провели на физической модели однотрактового компактного загрузочного устройства, изготовленной в масштабе 1:5 по отношению к линейным размерам БЗУ доменных печей № 2, 4 и 6 ОАО «ММК» [4; 5] (рис. 1).



Рис. 1. Физическая модель однотокового компактного загрузочного устройства лоткового типа

Для выявления рационального режима загрузки коксового орешка провели несколько серий запланированных экспериментов [6]. В них коксовый орешек загружали в составе железорудного сырья, включающего 75 % агломерата и 25 % окатышей. Количество орешка в бункере модели БЗУ соответствовало расходу его 100, 550 и 1000 кг в скип, содержащий 16 т железорудного материала. Располагали его под агломератом, в середине его слоя и над ним. Окатыши при этом в эксперименте 1 находились сверху, в эксперименте 2 – снизу. Варьируя долями загружаемых в бункер материалов, оставляя неизменным общее количество, производили их выпуск при различной степени открытия шихтового затвора. По ходу выпуска отбирали пробы и отделяли материалы друг от друга. Определяли долю коксового орешка и окатышей в смеси с агломератом по ходу выпуска и затем рассчитывали коэффициент равномерности поступления кокса пониженной крупности из бункера по следующей формуле:

$$K_{KO} = 1 - \frac{\sigma_i}{KO_{cp}}, \quad (1)$$

где σ_i – среднееквадратическое отклонение по массе i -х порций коксового орешка, поступающих из шихтового бункера; KO_{cp} – среднее значение поступающих из бункера порций орешка по массе.

Каждый опыт дублировали, после чего находили дисперсию эксперимента. Затем по критерию Кохрена определяли однородность данного ряда дисперсий.

Обработкой экспериментальных данных получили уравнения (3), (4), позволяющие выявить расположение орешка в смеси железорудных материалов, соответствующее максимальному коэффициенту равномерности его поступления на лоток БЗУ:

$$\begin{aligned} \hat{K}_{KO} = & 0,476 + 0,660A + 0,080\alpha_{ув} - 0,123KO + 0,032A \cdot \alpha_{ув} + \\ & + 0,033KO \cdot \alpha_{ув} - 0,15A \cdot KO - 0,145KO \cdot \alpha_{ув} - 0,099\alpha_{ув}^2 - 0,049KO^2, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\hat{K}_{KO} = 0,273 - 0,272A + 0,135KO - 0,145KO \cdot \alpha_{ув} - 0,099\alpha_{ув}^2 - 0,049KO^2, \quad (4)$$

где $\alpha_{шз}$ – степень открытия шихтового затвора;

КО – количество коксового орешка в подаче;

A – доля агломерата, располагающаяся над коксовым орешком в шихтовом бункере БЗУ.

В полученных уравнениях все факторы представлены в кодированной форме и изменяются от –1 до 1.

По критерию Фишера эти уравнения адекватно отражают экспериментальные данные. Расчетные значения составили 0,20 и 0,30 против табличных 2,67 и 2,92 в экспериментах 1 и 2 соответственно.

Наиболее высокий коэффициент равномерности поступления орешка на лоток БЗУ, равный 0,85, обеспечивала загрузка материалов в следующей последовательности: на дно шихтового бункера 70 % агломерата, затем коксового орешка, далее загрузка оставшегося 30 % агломерата (рис. 2); окатыши располагались последними. Такая очередность приводит к расположению орешка в середине объема шихты.

С помощью нейронных сетей исследовали влияние различных факторов на коэффициент сопротивления шихты в зоне, характеризующейся нижним перепадом давления газов [7]. Для построения нейронной сети использовали характеристики дутья, железорудной части шихты и кокса. Выходным параметром служил коэффициент сопротивления шихты в нижней части печи, вычисленный по формуле:

$$\lambda_{ни} = \frac{(2 \times P_d - \Delta P_n) \times \Delta P_n}{V_d^m}, \quad (5)$$

где P_d – давление горячего дутья, кПа;

ΔP_n – нижний перепад давления газов, кПа;

V_d – расход холодного дутья, м³/мин на 1 м³ полезного объема печи.

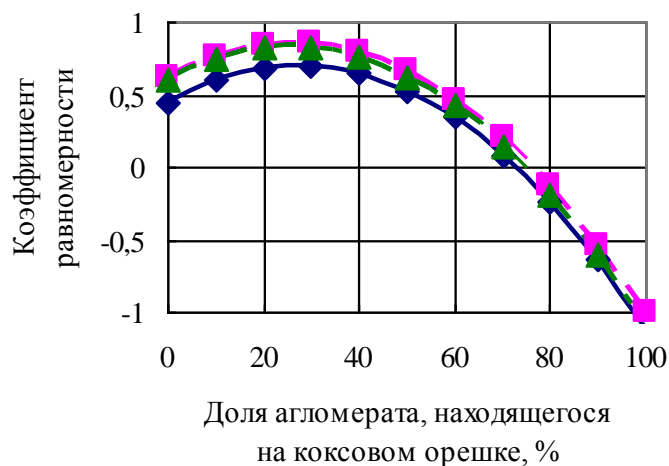


Рис. 2. Зависимость равномерности поступления коксового орешка из шихтового бункера на лоток БЗУ от доли агломерата над ним при расходе орешка 100 кг/подачу и угле открытия шихтового затвора 50° (■), 55° (▲) и 60° (◆)

В результате исследований выбрали сеть (рис. 3) с минимальными значениями ошибок.

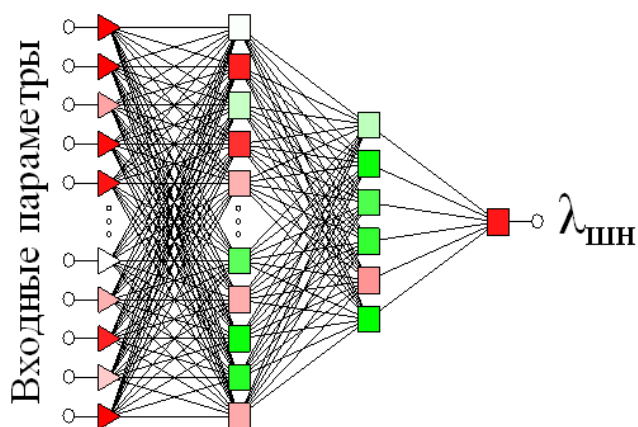


Рис. 3. Структура нейронной сети для определения коэффициента сопротивления шихты в нижней части печи

Представленная нейронная сеть построена на основе многослойного персептрона. Она состоит из четырех слоев: входного первого, образованного 14 нейронами, первого скрытого – 13, второго скрытого – 6 и выходного – 1 нейроном.

Тестировали модель на адекватность, используя данные, не входящие в обучающую выборку, а значит, неизвестные сети. Средняя относительная ошибка прогноза не превысила 0,28, максимальная из всей выборки – 2,82 %.

Аналитическое описание результатов нейросетевого моделирования дало безразмерное уравнение следующего вида:

$$\begin{aligned} K_{KO}^{\wedge} = & 1,96 + 0,88D + 12,71ЖРС + 15,91K - 2,48D \cdot ЖРС + \\ & + 6,57D \cdot K - 5,93ЖРС \cdot K - 1,68D^2 - 0,3ЖРС^2 - 14,22K^2, \end{aligned} \quad (6)$$

где D – комплексный показатель, характеризующий содержанием кислорода в дутье, его температурой, расходами природного газа и водяного пара;

$ЖРС$ – комплексный показатель, включающий расход сырья в единицу времени, содержание в нем FeO , MgO , Al_2O_3 , фракции 0–5 мм и основность;

K – комплексный показатель, включающий истираемость по М10, прочность на удар по М25, горячую прочность (CSR) и реакционную способность (CRI) кокса.

Относительная ошибка расчетных величин не превышает 3,52 %.

Выявили, что в зависимости от условий доменной плавки было прямое и обратное влияние исследуемых параметров на коэффициент сопротивления шихты. Так, компенсирование негативного действия расхода коксового орешка на ход доменной плавки, в том числе на дренажную способность горна печи, обеспечивалось либо уменьшением расхода природного газа, либо его увеличением.

Влияние расхода природного газа на коэффициент сопротивления шихты движению газов в нижней части печи зависело от содержания кислорода в дутье. При его концентрации менее 25,2 % увеличение расхода природного газа ухудшало газодинамические условия в нижней части печи в соответствии с рис. 4, а.

При увеличении содержания кислорода в дутье влияние расхода природного газа на коэффициент сопротивления шихты менялось в противоположенную сторону (рис. 4, б).

Промышленными испытаниями оценили изменение хода доменной плавки, в том числе фильтрующей способности кокса в горне доменных печей, работающих с различной определяющей зоной по силовому взаимодействию потоков шихты и газа, от расхода орешка.

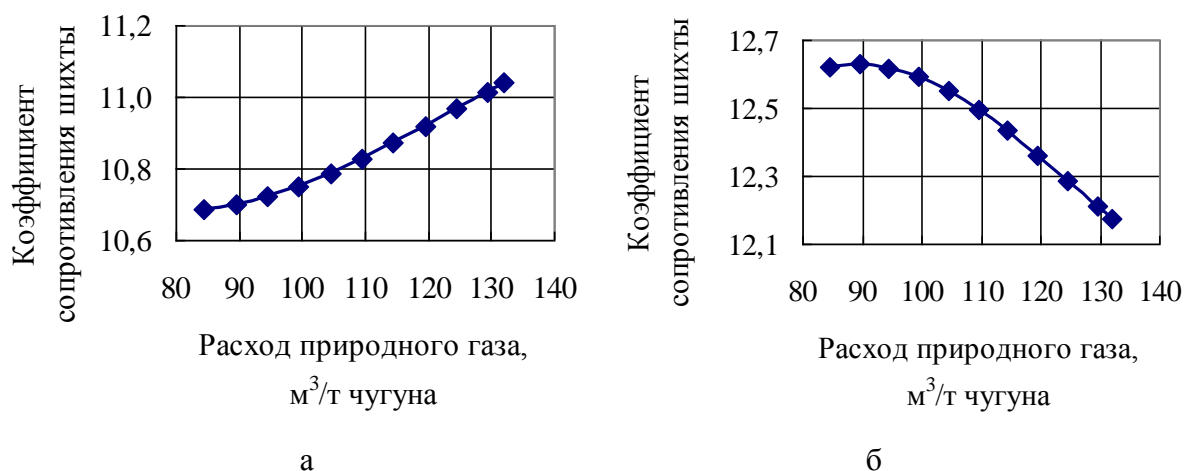


Рис. 4. Влияние расхода природного газа на коэффициент сопротивления шихты при содержании кислорода в дутье 24,3 % – а, 29 % – б

Для оценки дренажной способности горна использовали два типа показателей. Первый характеризует фильтрацию продуктов плавки через слой кокса в период их накопления в нижней части доменной печи. В это время изменение ряда показателей во второй половине межвыпускного периода относительно первой зависит от проницаемости коксовой насадки.

В качестве показателей этого типа использовали:

- нижний перепад давления газов;
- коэффициент сопротивления шихты движению газов в нижней части печи;
- количество подач, загружаемых в единицу времени.

Второй тип характеризует сформировавшиеся продукты плавки. К показателям данного типа отнесли:

- вязкость шлака;
- количество шлака, остающегося в горне после выпуска;
- интервал времени от начала выпуска до появления шлака;
- интенсивность выпуска чугуна;
- растворимость углерода в чугуне.

Вовлечение коксового орешка в шихту доменной печи, работающей в условиях нижней определяющей зоны, в количестве 12,8 кг/т чугуна без использования компенсирующих мероприятий привело к ухудшению дренажной способности горна. Коэффициент замены кокса коксовым орешком составил 0,61 кг/кг.

Применение орешка на доменной печи, работающей с верхней определяющей зоной, в количестве 12,2 кг/т чугуна без использования компенсирующих мероприятий сопровождалось увеличением производительности печи. Дренажная способность горна не изменилась. Коэффициент замены составил 0,68 кг/кг. Увеличение расхода орешка до 22,6 кг/т чугуна без использования компенсирующих мероприятий привело к ухудшению фильтрующей способ-

ности коксовой насадки и снижению производительности печи. Коэффициент замены снизился до 0,61 кг/кг.

Эффективное использование коксового орешка, без ухудшения фильтрующей способности коксовой насадки, обеспечивалось использованием комплекса компенсирующих мероприятий, в том числе применением кокса повышенного качества и промывочных материалов (марганцевая и железная руды), повышением коэффициента равномерности ($K_{ко}$) поступления орешка в колошниковое пространство печи.

Негативное действие коксового орешка на ход доменной плавки в количестве 4 кг/т чугуна компенсировало изменение одного из показателей качества кокса: снижение истираемости M10 на 0,05 абс. %, или повышение горячей прочности CSR на 0,14 абс. %.

Для устранения отрицательного действия 1 кг коксового орешка требовалось использовать марганцевую руду в количестве 1,7 кг или михайловскую железную в количестве 2,9 кг.

Расположением коксового орешка в середине объема материалов в бункере БЗУ повысили коэффициент равномерности поступления его на лоток ($K_{ко}$) с 0,13 до 0,85. Это сопровождалось повышением интенсивности по газу по высоте печи, уменьшением степени прямого восстановления с 39,6 до 38,7 %.

В целом по доменному цеху удельный расход кокса снижался при использовании орешка до 20 кг/т чугуна. При этом эффективность его использования уменьшалась при повышении его расхода. Дальнейшее увеличение его в шихте до 27 кг/т чугуна не снижало удельный расход кокса.

Заключение

1. Физическим моделированием установлено влияние последовательности расположения компонентов шихты в бункере БЗУ на коэффициент равномерности поступления коксового орешка из него. Наиболее высокий коэффициент, равный 0,85, обеспечило размещение его в середине объема материалов. Это достигалось загрузкой на дно шихтового бункера 70 % агломерата, затем коксового орешка, далее загрузка оставшегося 30 % агломерата, после чего окатышей.

2. Выявлено, что использование коксового орешка в количестве до 12 кг/т чугуна на доменных печах, работающих с верхней определяющей по газодинамике зоной, не требует компенсации негативного его действия на дренаж продуктов плавки в горне, при дальнейшем увеличении расхода орешка определяющей становится нижняя зона, вследствие чего необходимо использовать компенсирующие мероприятия.

3. В качестве компенсирующих мероприятий целесообразно использовать промывочные материалы (марганцевая или михайловская железная руды в количестве 1,7 и 2,9 кг на 1 кг орешка соответственно), кокс повышенного качества. Применение кокса с более высокой на 0,14 абс. % горячей прочностью, либо пониженной на 0,05 абс. % истираемостью устранит отрицательное действие расхода орешка в количестве 4 кг/т чугуна.

4. Реализация предложенного способа увеличения коэффициента равномерности поступления коксового орешка из бункера БЗУ в колошниковое пространство печи до 0,85 обеспечила эффективное его использование. Это сопровождалось повышением интенсивности по газу с 3,12 до 3,59 на колошнике и с 2,92 до 3,38 м³/(м³·мин) в распаре, уменьшением степени прямого восстановления с 39,6 до 38,7 %.

Список использованных источников

1. Симанков А. М., Юсфин Ю. С., Травянов А. Я. Влияние частичной замены кокса антрацитом на газодинамические условия работы доменной печи // Изв. вузов. Черная металлургия 2011. № 3. С. 16–20.
2. Ярошевский С. Л., Хлапонин Н. С., Кузнецов А. М., Кузин А. В. Производство и использование коксового орешка в доменной плавке. Донецк: УНИТЕХ. 2006. 68 с.
3. Сибатуллин С. К., Харченко А. С., Чевычелов А. В., Колосов А. В., Гостенин В. А., Пишнограев С. Н. Влияние коксового орешка на фильтрацию жидких продуктов плавки в горне доменной печи // Вестник МГТУ Г. И. Носова 2010. № 4. С. 26–28.
4. Харченко А. С., Сибатуллин С. К., Сысоев Н. П. Поступление коксового орешка совместно с агломератом и окатышами из шихтового бункера БЗУ в колошниковое пространство доменной печи // Известия вузов. Черная металлургия. 2011. № 8. С. 18–19.
5. Чевычелов А. В., Павлов А. В., Теплых Е. О., Харченко А. С., Сибатуллин С. К. Рациональный режим загрузки коксового орешка в шихтовый бункер БЗУ // Сталь. 2013. № 7. С. 8–10.
6. Спирин Н. А., Лавров В. В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: конспект лекций. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2004. – 257 с.
7. Харченко А. С., Сибатуллин С. К., Колосов А. В. Использование нейросетевого моделирования для изучения газодинамического режима в нижней части доменной печи в условиях ее работы с коксовым орешком // Изв. вузов. Черная металлургия. 2011. № 11. С. 23–26.

УДК 669.051

А. П. Скуратов, Е. А. Павлов

Сибирский федеральный университет, Политехнический институт,
кафедра теплотехники и гидрогазодинамики, г. Красноярск, Россия

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПЕРЕВОДА В РАСТВОРИМУЮ ФОРМУ УПОРНЫХ ПРОМПРОДУКТОВ АФФИНАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация

Определены основные факторы, влияющие на низкую рентабельность технологии аффинажного производства. Предложено использовать самораспространяющийся высокотемпературный синтез как энергосберегающий способ, позволяющий повысить эффективность действующих технологий перевода в растворимую форму упорных промпродуктов, содержащих металлы спутники платины. Проведен анализ возможных теплогенерирующих шихт, выполнен расчет доли вводимого упорного материала, определена эффективность предлагаемого способа. Разработана установка с выкатным тиглем, обоснованы техниче-